Revista CIENCIA **Vol. 20, 1, 55-72 (2018)**

BEHAVIOR OF STRUCTURES LOCATED IN THE ZERO ZONE OF TARQUI IN MANTA, DURING THE EARTHQUAKE OF 2016

R. Aguiar [1,2], A. Vega [2], M. Fioravanti [2], J. Intriago [2], R. Mero [2], P. Moreira [2], W. Salguero [2], D. Luzardo [2]

[1]Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Av. General Rumiñahui s/n Valle de los Chillos, Ecuador. rraguiar@espe.edu.ec
[2]Facultad de Ingeniería. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manta Ecuador.

Received: September 2017. Accepted: December 2017

ABSTRACT

It was studied the behavior that nine structural blocks of 8 buildings had, located in Zero Zone of Tarqui in Manta, during the earthquake of 2016; for the effect a spectral analysis was carried out and it was verified that the bad behavior of some of these structures was due to a bad design and lack of control in the construction; it was also due to a probable amplification of the seismic waves due to having periods of soil vibration greater than 0.7 seconds

Keywords: Zero Zone of Manta, Soil periods, Spectral method

COMPORTAMIENTO DE ESTRUCTURAS UBICADAS EN LA ZONA CERO DE TARQUI EN MANTA, DURANTE EL TERREMOTO DE 2016

RESUMEN

Se estudia el comportamiento que tuvieron nueve bloques estructurales de 8 edificaciones ubicadas en la Zona Cero de Tarqui, en Manta, durante el terremoto de 2016; para el efecto se realizó un análisis espectral y se comprobó que el mal comportamiento que tuvieron algunas de éstas estructuras se debió a un mal diseño y falta de control en la construcción; también se debió a una probable amplificación de las ondas sísmicas por tener períodos de vibración del suelo mayores a 0.7 segundos.

Palabras Claves: Zona Cero de Manta; Períodos de suelo; Método Espectral.

1. INTRODUCCIÓN

La Zona Cero de la ciudad de Manta, fue la que más daño tuvo durante el terremoto del 16 de abril de 2016, que tuvo una magnitud de 7.8. En este artículo se analiza el comportamiento sísmico de nueve bloques estructurales correspondientes a 8 edificaciones, ubicadas en dicho sector y son las indicadas en la figura 1 y en la tabla 1.



3

Figura 1 Ubicación de las estructuras que se analizan en este artículo y que se hallan en la Zona Cero.

El Hotel Vista Alegre, identificada con el número 8 en la figura 1 tiene dos bloques estructurales. Por otra parte la edificación identificada como Residencia Zona Cero, está ligeramente fuera de la Zona Cero.

Tabla 1 Código y dirección de estructuras analizadas de Zona Cero

Código	Nombre	Ubicación	N.P.
1	Edificio Adrianita	Calle 101 y Av. 109	4
2	Gustavo Mero	Calle 105 y Av. 109	4
3	Residencia Zona Cero	Calle 104 y Av. 114	3
4	Residencia Arauz	Calle 103 y Av. 107	2
5	Edificio Cuenca	Calle 103 y 102 y Av. 108	5
6	Hotel Las Rocas	Calle 101 y Av. 106 y 105	6
7	Edificio Italo Quijije	Calle 107 y Av. 104	4
8	Hotel Vista Alegre Bloque 1	Calle 106 y Av. Malecón Tarqui	5
9	Hotel Vista Alegre Bloque 2	Calle 106 y Av. Malecón Tarqui	5

Las estructuras han sido analizadas con el Método Espectral, utilizando los espectros obtenidos en Manta, del terremoto del 16 de abril de 2016. Para el efecto se trabajó con un modelo de un grado de libertad por piso, ubicado en el Centro de Masas y se analizó por separado la respuesta dinámica en sentido longitudinal (mayor dimensión del edificio) y en sentido transversal (menor dimensión).

Del Método Espectral se halló el desplazamiento lateral máximo D_t, las derivas de piso γ, la deriva global γ_g que relaciona D_t con la altura total de la estructura H, y, el cortante basal V_0.

Por otra parte se obtuvo un modelo equivalente de un grado de libertad 1gdl, considerando que tanto el sistema de ngdl., cómo el sistema de 1gdl, tienen el mismo período de vibración (Saiidi y Sozen, 1981). La masa del sistema equivalente se obtuvo como la masa modal asociada al primer modo de vibración. En Aguiar y Ortíz (2017) se presenta con detalle la forma como se obtiene el modelo equivalente de 1gdl.

Se encontró la respuesta ante las dos componentes del espectro de Manta, del terremoto de 2016 y se halló el desplazamiento lateral d_t en el sistema de 1gdl. Finalmente se encontró el parámetro Γ dividiendo D_t para d_t.

Interesa conocer la relación H para T, siendo ésta última variable el período fundamental de la estructura hallado con inercias gruesas. Pero antes de ello, se debe manifestar que en el Ecuador se utilizan muros de corte en edificios de más de 10 pisos, se espera que en un futuro cercano se utilicen muros de corte en edificios de menos de 10 pisos, de esta manera se estará construyendo estructuras rígidas.

En estructuras conformadas por vigas y columnas, sin muros de corte, se presenta la pérdida total de un piso o de varios pisos, un ejemplo de ello se presenta en el Edificio Adrianita que se indica en el siguiente apartado, era una edificación de 4 pisos en la que colapsó el tercer piso, como se observa en la figura 2 b.

Retomando a la relación H/T se debe manifestar que en Chile, donde se construye con muros de corte, esta relación se encuentra entre $40\, m/s$, y, $150\, m/s$ (Massone *et al.* 2012, Lagos *et al.* 2012).

En la Zona Cero de Manta, existían estructuras que tuvieron un mal comportamiento sísmico durante el terremoto de 2016, pero también hubo estructuras que se comportaron bastante bien, entonces es de interés conocer la relación H/T, y de paso ver que tan lejos se encuentra de los valores hallados en Chile.

Por otra parte, en la Zona Cero de Manta, se han realizado trabajos geofísicos en los que se han determinado el período de vibración del suelo T_s y la velocidad de la onda de corte en los 30 primero metros de profundidad V_{s30}. Se quiere ver si existe alguna relación entre el período de vibración de la estructura T, la relación H/T y los parámetros geofísicos T_s y V_{s30}. Por esto posteriormente se presenta el estudio geofísico realizado por Geoestudios (2016) para la Zona Cero.

Pero antes se presenta una ficha técnica de cada una de las 9 estructuras analizadas con el propósito de que el lector tenga una idea del desempeño estructural que estas tuvieron durante el terremoto de 2016 y la tipología de las mismas.

2. FICHA TÉCNICA EDIFICIO ADRIANITA

MATERIAL	# DE PISOS	AÑOS	UBICACIÓN	DIRECCIÓN
Hormigón Armado	4	5	Esquinero	Calle 101 y Av. 109
TIPOLOGÍA			**FALLA**	
Edificio de Hormigón Armado adosado en dos lados con columnas de 45*45 cm primeros pisos, 40*40 cm tercer piso y 35*35 último piso. Vigas peraltadas de 25*45 cm y 20*40. Espesor de la losa 25 cm			Colapso del tercer piso y consecuencia de ello es que el piso cuarto se asentó en el tercer piso. El Edificio falló por torsión, ver figura 8b en que se aprecia que la diagonal del edificio se rotó hacia la derecha. Edificio en Tarqui no hubo víctimas mortales; construcciones adyacentes permanecen en pie.	
CIMENTACIÓN			**OBSERVACION**	
Zapatas corridas.			La estructura presentaba volados muy grandes en sentido X de 2.20m y en sentido Y de 3.80m. A más de ello es un edificio abierto.	

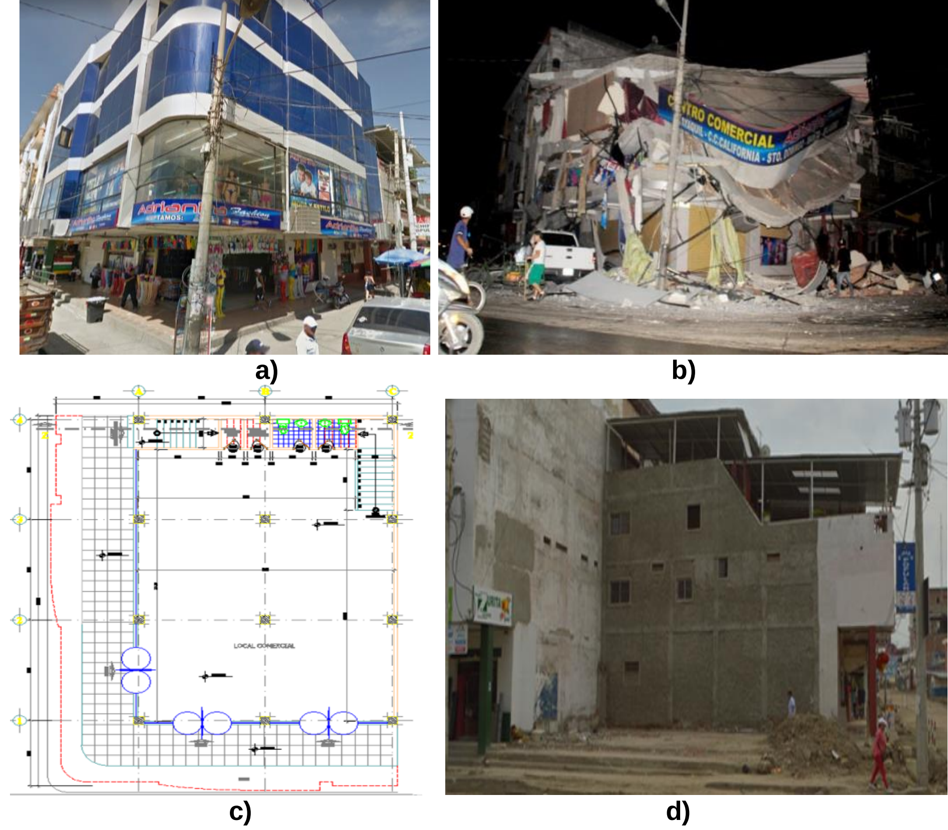


Figura 2 Edificio Comercial Adrianita**; a)** Antes del sismo; **b)** Después del sismo; **c)** Vista en planta; **d)** Estado actual

3. FICHA TÉCNICA DEL EDIFICIO GUSTAVO MERO

Material	# de Pisos	Años	Ubicación	Dirección
Hormigón Armado	4	15	Interior	Calle 105 y Av. 109.
Tipología		**Falla**		
Estructura de 4 pisos, con columnas de 0.30*0.30 m y 0.25*0.30m. Vigas de 0.20*0.40 m. Losa de 0.20 m alivianada. Hormigón de 21 MPa.		Daño en losa del segundo piso. Daño entre moderado y extensivo en mampostería de ladrillo, a partir de primera planta alta en paredes interiores y exteriores.		
Cimentación		**Observaciones**		
Zapatas Aisladas.		La estructura no fue reforzada; solo se reparó la losa sin inyecciones de resina epóxica. Figura 3 b.		



Figura 3 Edificio Gustavo Mero; **a)** Fachada frontal de edificación; **b)** Grietas en losa; **c)** Fachada posterior de la edificación; **d)** Fisura en mampostería.

4. FICHA TÉCNICA DE RESIDENCIA ZONA CERO

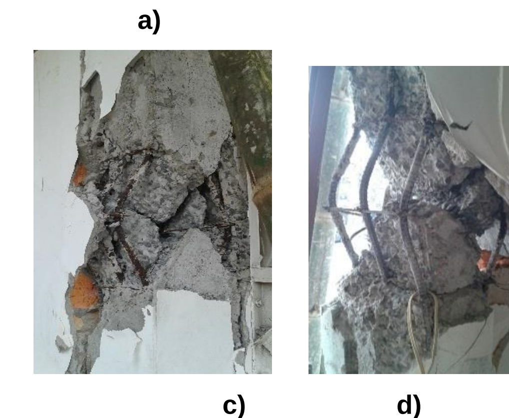
<table>
<tr><th>MATERIAL</th><th># DE PISOS</th><th>AÑOS</th><th>UBICACIÓN</th><th>DIRECCIÓN</th></tr>
<tr><td>Hormigón Armado</td><td>3</td><td>15</td><td>Intermedia</td><td>Calle 104 y Av. 114. Tarqui.</td></tr>
<tr><th colspan="2">Tipología</th><th colspan="3">Falla</th></tr>
<tr><td colspan="2">Estructura de una planta baja, y dos pisos altos; con 6 ejes de columnas en sentido longitudinal y 3 en sentido transversal; las dimensiones típicas de columna son de 30*30 cm, y las vigas son de 20*30 cm.</td><td colspan="3">La edificación presentó graves daños estructurales, específicamente en dos de las columnas de fachada, además de una deflexión de 8 cm en una parte del volado.</td></tr>
<tr><th colspan="2">CIMENTACIÓN</th><th colspan="3">OBSERVACIÓN</th></tr>
<tr><td colspan="2">Plintos aislados.
La estructura se halla en perfil de suelo tipo D.</td><td colspan="3">A la estructura se les hizo el refuerzo metálico a las columnas reventadas con acero A572 grado 50, además de reemplazar la cimentación de las columnas dañadas, (plintos). El volado flexionado se reparó empachando las losas con placas metálicas, teniendo como empachado de fuerza las vigas.</td></tr>
</table>



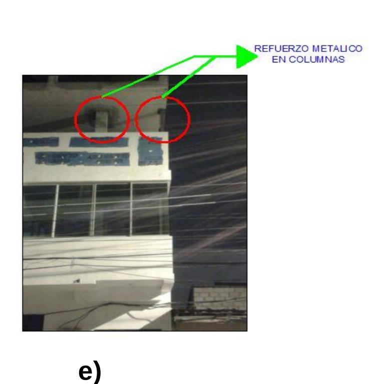
a)



b)



c) d)



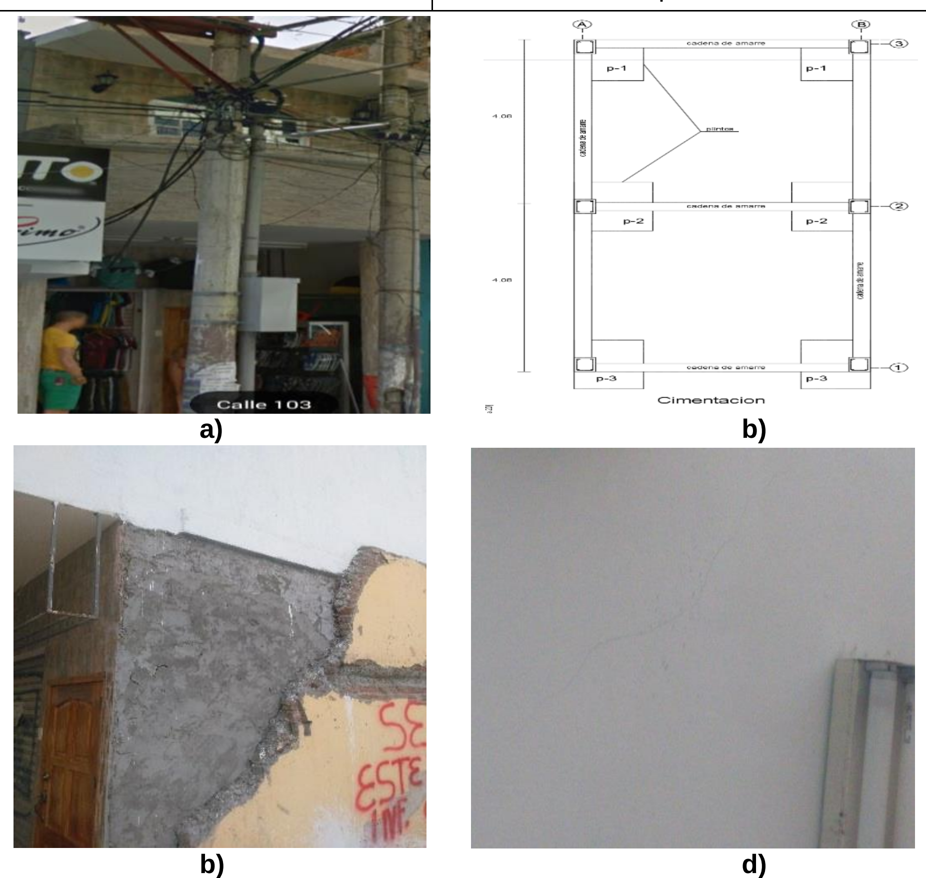
e)

Figura 4 Residencia en zona cero; **a)** Vivienda antes del terremoto; **b)** Fachada después del terremoto; **c)** Daño en columna de fachada; **d)** Daño en columna central; **e)** Refuerzo metálico.

5. FICHA TÉCNICA DE LA RESIDENCIA ARAUZ

MATERIAL	N° DE PISOS	AÑOS	UBICACIÓN	DIRECCIÓN
Hormigón Armado	2	<10	Intermedio	Calle 103 y Av 107

TIPOLOGÍA	FALLA
Es una estructura con 3 ejes de columnas en sentido transversal (X), y 2 ejes de columna en sentido longitudinal (Y); la dimensión típica de columna es de 35/25 sent. (X) y 25*35 sent. (y) cm, igual en todos los pisos; todas las vigas son de 20*20 cm.	La edificación no presentó fallas estructurales post el sismo del 16 A, pero si presentó daño considerable a nivel de mampostería adosadas. En sentido transversal la estructura tuvo debidas de piso altas.
CIMENTACIÓN	**OBSERVACIÓN**
Zapatas Aisladas	La estructura es regular en planta y en elevación. Al momento del sismo la estructura se comportó adecuadamente.



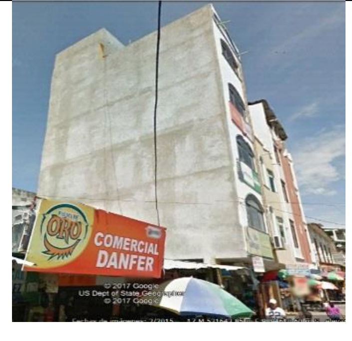
a) b)

b) d)

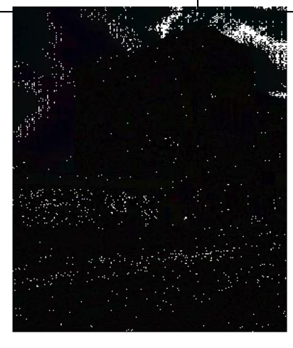
Figura 5 Residencia Arauz; **a)** Fachada de la residencia: **b)** cimentación de la residencia; **c)** Grietas en las paredes adosadas; **d)** Fisuras a nivel de losa;

6. FICHA TÉCNICA DEL EDIFICIO CUENCA

Material	# de pisos	Años	Ubicación	Dirección
Hormigón Armado	5	10	intermedia	Av. 108 entre calle 103 y 102
Tipología		**Falla**		
Es una estructura con 2 ejes de columnas en sentido longitudinal y cuatro transversal, las dimensiones típicas de las columnas son 40/40cm y las vigas son de sección variable. Es una estructura adosada en ambos pórticos laterales.		Fisuras en mampostería costado izquierdo.		
Cimentación		**Observaciones**		
Zapatas aisladas		Las columnas interiores y exteriores no presentaron fallas, mínima fisuras a nivel de las escaleras.		



a)



b)



c)



d)



e)

Figura 6 Edificio Residencial Cuenca; **a)** Vista costado izquierdo antes del terremoto, **b)** costado izquierdo después del terremoto; **c)** parte posterior del edificio; **d)** fachada principal del antes del terremoto; **e)** Fachada posterior después del terremoto

7. FICHA TÉCNICA HOTEL LAS ROCAS

<table>
<tr><th>Material</th><th># de Pisos</th><th>Años</th><th>Ubicación</th><th>Dirección</th></tr>
<tr><td>Hormigón Armado</td><td>6</td><td>35</td><td>ESQUINERO</td><td>Calle 101 esquina y Avenida 106 y 105.</td></tr>
<tr><th colspan="2">Tipología</th><th colspan="3">Falla</th></tr>
<tr><td colspan="2">Edificación compuesta por un sistema de columnas de secciones variables y vigas bandas. Con voladizos de 4m.</td><td colspan="3">Presento daños extensivos en mampostería, así como en elementos estructurales que estaban adyacentes a un edificio vecino.</td></tr>
<tr><th colspan="2">Cimentación</th><th colspan="3">Observaciones</th></tr>
<tr><td colspan="2">Cimentación Zapata Aislada de 1.6m x1.6m</td><td colspan="3">Se decidió que el edificio quedara de 3 pisos pero en el derrocamiento no tomaron las precauciones del caso y la estructura colapsó.</td></tr>
</table>

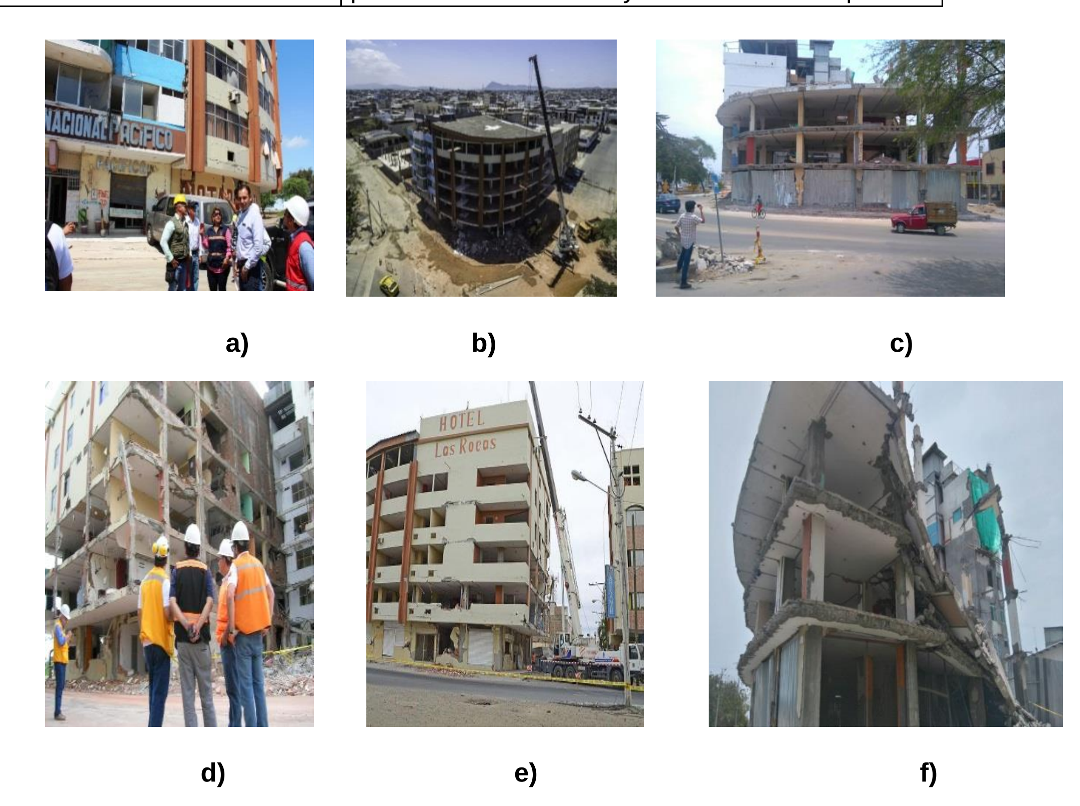
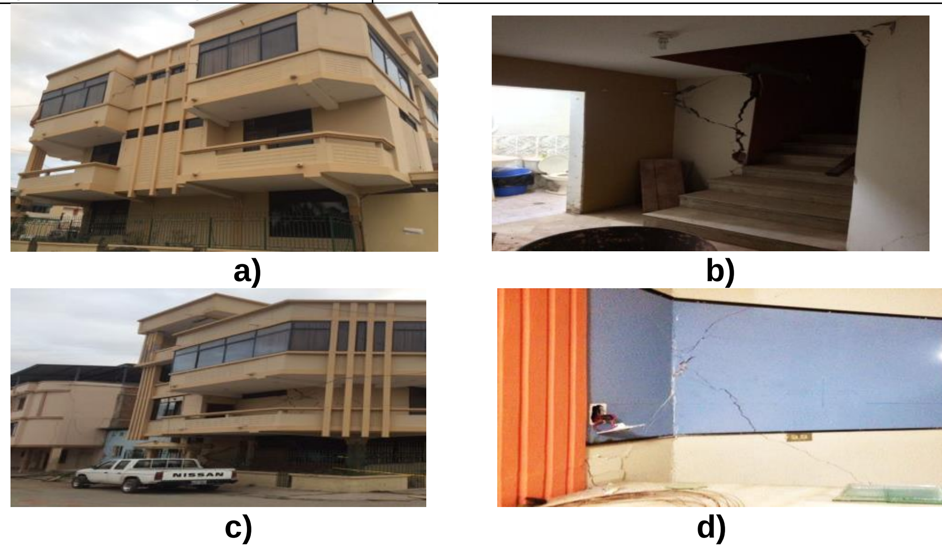


Figura 7 Edificio Las Rocas; **a)** Fachada Lateral Izquierda; **b)** Fachada Frontal; **c)** fachada frontal luego de haberle derrocado dos pisos **d)** Fachada posterior; **e)** Fachada Lateral Derecha; **f)** colapso de las losas en la parte posterior derecha

8. FICHA TÉCNICA DEL EDIFICIO ITALO QUIJIJE

Material	# de Pisos	Años	Ubicación	Dirección
Hormigón Armado	4	19	Esquinero	Avenida 104 y calle 107

Tipología	Falla
Estructura con 4 ejes de columnas en sentido X y 3 ejes en el sentido Y, la dimensión típica de columna es de .30*.30 cm, y sube igual en todos los pisos; las vigas de .50*.20 cm de igual manera para todos los pisos. **Losa plana** de 20 cm de espesor; en voladizos las vigas son de 30 de alto.	Daño leve y moderado en mampostería de todos los pisos. En base a las derivas obtenidas muy probablemente existió daño en elementos estructurales.
Cimentación	**Observaciones**
2 plintos de (1.60*1.60*0.25), 2 plintos de (1.80*1.80*0.30), 4 plintos de (1.5*2*0.25), 4 plintos de (1.60*1.80*0.25)	Actualmente la edificación se encuentra deshabitada pero no ha sido reparada.



a) **b)**

c) **d)**

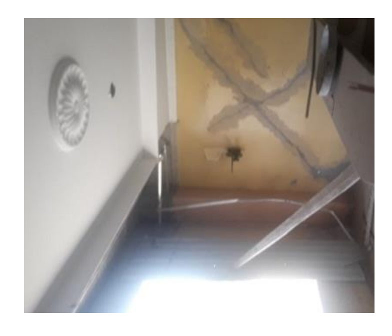
Figura 8 Edificio Italo Quijije; **a)** vista lateral derecha; **b**) daño en mampostería; **c)** vista frontal; **d)** fisuras diagonales

9. FICHA TÉCNICA HOTEL VISTA ALEGRE BLOQUE 1

Material	# de Pisos	Años	Ubicación	Dirección
Hormigón Armado	5	6	Esquinero	Av. Malecón Tarqui y Calle 106
Tipología		**Falla**		
Estructura de 5 pisos con 8 ejes en sentido transversal y 3 en el sentido longitudinal. Columnas de 45x45 cm y vigas de 45x35 en todos sus pisos.		Falla por aplastamiento de columnas en nudo inicial del tercer piso con hundimiento de 7cm. También hubo daño en vigas. Daño generalizado en mampostería. Este bloque estructural se construyó primero y no tuvo buen control de la construcción.		
Cimentación		**Observaciones**		
Plinto aislada de 2.60x2.60 m		Decidieron derrocar los tres pisos superiores desde ejes 4 a 7 de tal forma que se tiene una estructura de dos pisos, pero en el sector de gradas es de 5 pisos, lo que significa que probablemente piensan subir los pisos derrocados.		

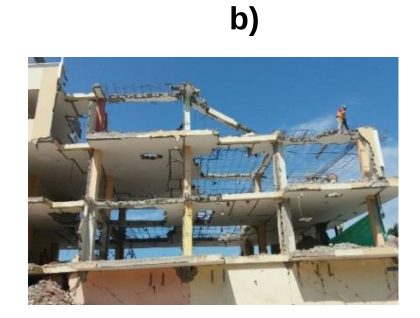


a)



b)

c)



d)

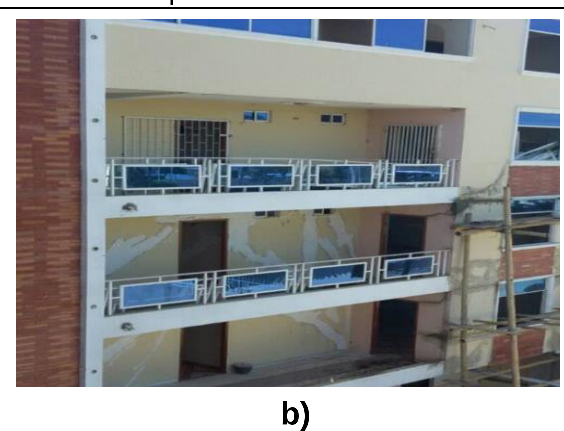
Figura 9 Hotel Vista Alegre; a) Fachada frontal después de reparación; b) Daño en mampostería planta baja; c) Daño en fachada lateral de mampostería; d) fachada lateral daños en columnas.

10. FICHA TÉCNICA HOTEL VISTA ALEGRE BLOQUE 2

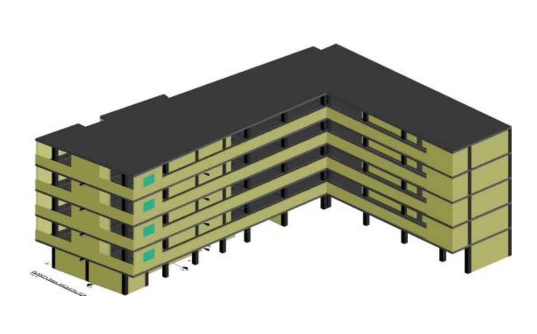
Material	# de Pisos	Años	Ubicación	Dirección
Hormigón Armado	5	6	Esquinero	Av. Malecón Tarqui Calle 106
Tipología		**Falla**		
Estructura de 5 pisos con 6 ejes de columnas en sentido longitudinal y 2 en el sentido transversal. Columnas de 45x45 cm y vigas de 45x35 en todos sus pisos. Losa alivianada de 25 cm.		Tuvo daño en la mayor parte del edificio pero solo la mampostería. Muy probablemente existe daño en elementos de hormigón armado.		
Cimentación		**Observaciones**		
Plinto aislado de 2.60x2.60 m		En la actualidad han reparado las fisuras que tuvo la edificación. Estructura con piso blando.		



a)



b)



c)



d)

Figura 10 Hotel Vista Alegre; **a)** Fachada frontal antes del sismo del 16 abril; **b)** Fachada frontal después de reparaciones; **c)** Vista espacial; **d)** Daño en Mampostería.

Un caso especial, dentro de los edificios analizados corresponde al Hotel “Vista Alegre” que se encuentra en la Zona 3, y está compuesta por dos bloques estructurales, el primero de ellos se indica en la figura 11 a, que muestra como quedó el edificio después del terremoto, por fuera se aprecia gran daño en mampostería y en la parte posterior en sentido perpendicular se construyó el bloque dos, una parte de este bloque se halla en la continuación del Bloque uno.

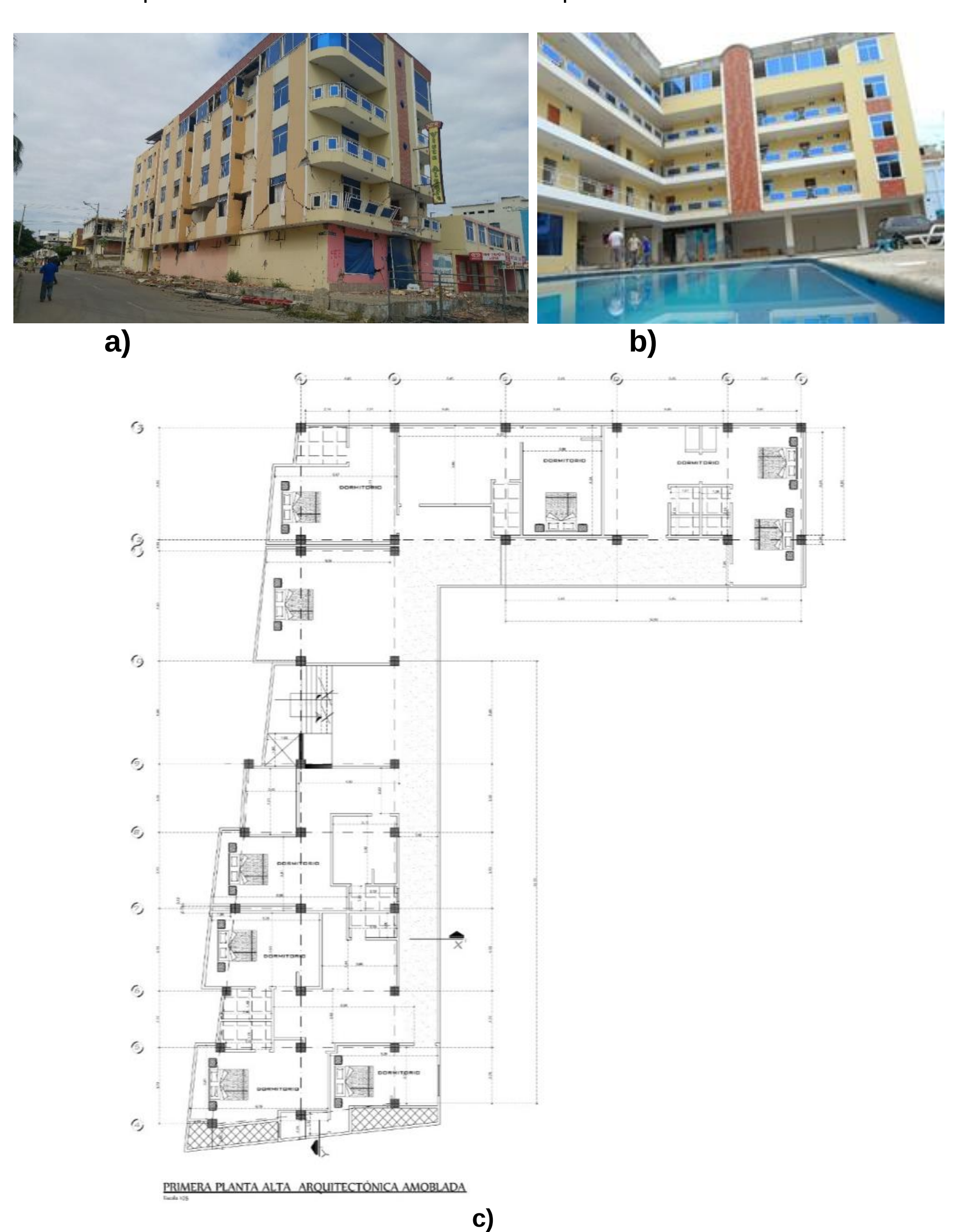


Figura 11 Hotel Vista Alegre; a) Vista exterior después del terremoto; b) Vista Interior antes del terremoto de 2016; c) Primera planta alta.

En la figura 11 b, se ve al fondo el bloque estructural 2, esta fotografía fue tomada antes del terremoto de 2016. Lo cierto es que primero se construyó el Bloque estructural uno y al parecer no hubo un control adecuado de la construcción, lo que originó que este bloque presente mayor daño que el bloque estructural dos en que hubo mejor control y prueba de ello es que actualmente se mantienen los 5 pisos de esta edificación en contraste con el Bloque uno en que han derrocado los tres pisos superiores.

La figura 11 c, corresponde a una vista de la primera planta alta, en ella se observa que en el eje 11 hay doble columna y doble pared, ya que existe junta de construcción. Inicialmente el Hotel llegaba hasta esa junta.

Con esto se demuestra que el suelo no tuvo una participación decisiva en el mal comportamiento de las estructuras, lo que hubo fue falta de control en la construcción y porque no decirlo son estructuras flexibles.

11. RELACIÓN H/T

En la tabla 2, se presenta la relación altura total del edificio H con respecto al período de vibración del modo fundamental T. Se aprecia que el Edificio Adrianita, (código 1) que colapsó durante el terremoto de 2016, fue la que menores valores tuvo (9,3 en promedio) en cambio las estructuras que tuvieron los mayores valores son la Residencia Arauz y Edificio Cuenca (códigos 4 y 5) que tuvieron un buen comportamiento sísmico con daño solo a nivel de mampostería pero es muy probable que también exista fisuras leves en elementos estructurales, que no se los ve; el promedio de la relación H/T, es de: 27,05 y 26,52, respectivamente.

De tal manera que la relación $\frac{H}{T}$, predice bastante bien el desempeño de las estructuras, a mayor valor de esta relación se tiene mejor comportamiento sísmico.

Tabla 2 Relación H/T, deriva de piso γ, deriva global γ_g

Cód.	H (m)	Long. $T\ (s)$	Tran. $T\ (s)$	Long. $\frac{H}{T}$ m/s	Tran. $\frac{H}{T}$ m/s	Long. γ (%)	Tran. γ (%)	Long. γ_g (%)	Tran. γ_g (%)
1	11,80	1,18	1,37	10,00	8,61	1,85	2.82	1,50	2.21
2	11,94	0,88	0,62	13,57	19,26	1,49	1,21	1,08	0,91
3	8,15	0,53	0,60	15,38	13,58	1,30	1,88	1,10	1,53
4	5,00	0,19	0,18	26,32	27,78	1,55	0,94	1,36	0,77
5	15	0,47	0,71	31,91	21,12	0,72	0,92	0,58	0,70
6	17,55	1,30	1,08	13,5	16,25	2,11	1,11	1,63	0,87
7	11,70	0,81	0,95	14,44	12,32	1,49	1,71	1,03	1,21
8	12,90	0,83	0,75	15,54	17,2	1,11	0,82	0,87	1,08
9	12,90	0,64	0,76	20,16	16,97	1,19	1,08	0,86	0,83

En el Hotel "Las Rocas" (Código 6) el valor promedio de la relación H/T es 14,88 valor bajo y tuvo bastante daño en los elementos estructurales por lo que sus dueños decidieron derrocar los tres pisos superiores; para dejar el Hotel con los tres pisos inferiores, empezaron a derrocar, primero en forma manual, pero como este procedimiento les demandaba mucho tiempo, decidieron subir una excavadora con la

cual estaban derrocando pero en un momento determinado colapsaron dos losas de los pisos inferiores que teóricamente debían quedar de pie (ver figura 7 f).

En el Edificio Narea, ubicado en la vía Barbasquillo, en el sector de Umiña, derrocaron el edificio que fue afectado por el terremoto de 2016, con este mismo procedimiento (subir retroexcavadoras a los pisos para derrocar columnas, vigas, losas) pero en este caso lograron su objetivo, no así en el Hotel "Las Rocas".

12. RELACIÓN DEL DAÑO CON EL TIPO DE SUELO

En la figura 12, se presenta curvas con iguales períodos de vibración del suelo, hallados por Geoestudios (2016) para la Zona Cero de Manta y con colores se indica la topografía del sector. Se aprecia que la parte más baja se halla a una altura sobre el nivel del mar entre 2 y 4 m, mientras que la parte más alta se encuentra a una altura comprendida entre 16 y 18 m.

La zona cercana al mar tiene períodos de vibración del suelo que varían entre 0.5 y 0.8 segundos; en cambio en las zonas altas el período de vibración del suelo está alrededor de 0.5 segundos. En este mapa se han ubicado las 8 edificaciones estudiadas con el propósito de ver si el período de vibración de la estructura es igual o similar al período de vibración del suelo. En caso de existir esta aproximación se puede decir que hubo amplificación de las ondas sísmicas o que las estructuras entraron en resonancia.

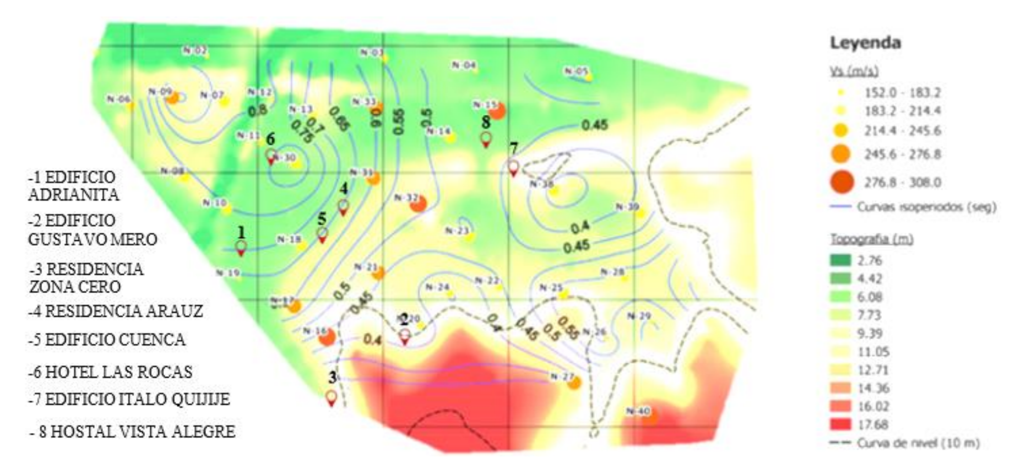


Figura 12 Períodos de vibración del suelo y curvas de nivel.
Fuente: Geoestudios (2016)

En la tabla 3 se indica el código de identificación de las edificaciones analizadas; el período de vibración del suelo, los períodos de las estructuras; las restantes columnas se presentarán en el siguiente apartado.

Por ahora se destaca que las estructuras tienen dos períodos de vibración uno en sentido longitudinal y otro en sentido transversal, ya que responden al modelo de análisis de un grado de libertad por piso, en cada dirección de análisis; en consecuencia la matriz de rigidez en sentido longitudinal es diferente de la matriz de rigidez en sentido transversal, la matriz de masas es la misma para los dos casos.

Una vez que se ha explicado porque se tienen dos períodos, uno en sentido longitudinal y otro en sentido transversal, se observa en la tabla 3 que estos períodos son diferentes del período de vibración de los suelos. Por lo tanto, no se dio el efecto de resonancia.

No se dio el efecto de resonancia pero al tener períodos de vibración del suelo mayores a 0.7 segundos, hubo una importante amplificación de las ondas sísmicas, agravadas por el hecho de que la Velocidad de la onda de corte es baja entre 180 y 220 m/s.

En el sector con períodos de más de 0.7 segundos se tiene el Edificio Adrianita y El Hotel Las Rocas, que tuvieron un mal comportamiento sísmico. Es verdad que eran estructuras frágiles con valores de H/T, bajos, que tuvieron deficiencias estructurales una prueba de ello se indica en el siguiente párrafo pero el período del suelo y la velocidad de la onda de corte, si influyó en la respuesta sísmica.

El Edificio Adrianita, por ejemplo tenía luces de 5 m, y voladizos de 3 m, con columnas de 45/45 en la planta baja y 35/35 en el cuarto piso; las vigas eran ligeramente descolgadas. Al ser un almacén comercial, la carga viva es alta por ello es que el período de vibración es alto. Pero una de las causas del colapso, era de que se trataba de un “Edificio Abierto” ya que dos de sus ejes de columnas estaban adosados a las construcciones vecinas en consecuencia la matriz de rigidez lateral de estos pórticos era muy alta en contraste con los opuestos que daban a la calle, para colmo en estos pórticos que dan a la calle se tenían voladizos de 3 m. De tal manera que el colapso de este edificio se debió a problemas estructurales y al período de vibración del suelo, fundamentalmente.

Tabla 3 Período del suelo y Períodos de la Estructura

CÓDIGO	PERIODO DEL SUELO T(s)	PERIODO DE LA ESTRUCTURA		ZONA GEOTÉCNICA	COMENTARIOS
		LONGITUDINAL	TRANSVERSAL		
1	0.70	1,18	1,37	ZONA 4	Zona de depósitos arenosos
2	0.40	0,88	0,62	ZONA 2	Zona de colinas, desplazamiento lateral
3	0.40	0,53	0,60	ZONA 2	Zona de colinas, desplazamiento lateral
4	0.62	0,19	0,18	ZONA 4	Zona de depósitos arenosos
5	0.63	0,47	0,71	ZONA 4	Zona de depósitos arenosos
6	0.75	1,30	1,08	ZONA 9	Zona de depósitos arenosos , licuación de suelo
7	0.43	0,81	0,95	ZONA 3	Zona de transición , licuación y degradación cíclica
8	0.42	0,83	0,75	ZONA 3	Zona de transición , licuación y degradación cíclica

10. LICUEFACCION DE SUELOS

En la figura 13 se presentan las zonas donde existe una alta probabilidad de que se tenga licuefacción de los suelos y están identificadas por las zonas 7 y 8; en estas zonas no se encuentran las estructuras estudiadas en este artículo.

El Edificio “Adrianita” que colapsó durante el terremoto se halla en la zona 4 que es una zona de terrenos arenosos, con probable licuefacción de suelos. Pero en esta zona 4 también se hallan la residencia Arauz y el edificio Cuenca, que tuvieron poco daño estructural de tal manera que no se ve una relación directa entre el daño de las estructuras y el potencial grado de licuación del suelo.



Figura 13 Características geotécnicas y zonas de licuefacción.
Fuente: Geoestudios (2016)

11. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

Se han analizado 9 bloques estructurales correspondientes a 8 edificaciones construidas en la Zona Cero de Tarqui; también se ha presentado los resultados de un estudio de geofísica en el cual se determinan la velocidad de la onda de corte y el período de vibración de los suelos y se ha indicado un estudio sobre el potencial de licuefacción de suelos en que se definen 9 sectores dentro de la Zona Cero de Tarqui.

Se realizó el análisis sísmico de las nueve estructuras, utilizando el Método Espectral, empleando los espectros obtenidos en la ciudad de Manta, del terremoto de 2016.

El daño en las estructuras se debió a malos diseños estructurales, a falta de control técnico en la construcción y también a efectos importantes de amplificación de las ondas sísmicas en lugares donde el período de vibración del suelo es mayor a 0.7 segundos y la velocidad de la onda de corte tiene valores entre 180 y 220 m/s.

Es importante elevar la relación entre la altura del edificio y el período de vibración de la estructura (relación H/T) que es baja tiene que ser por lo menos del orden de 20 y esto se logra mediante una ordenanza municipal. De esta manera se dejará de seguir construyendo edificios flexibles y se empezará a rigidizar las estructuras.

Por otra parte, es importante que Manta cuente con una clasificación de suelos en que se considere como una variable importante el período de vibración del suelo. (Pilitakis *et al.* 2012, 2013)

REFERENCIAS

1. Aguiar R., Andrango K., Araujo A., Aroca J., Arostegui M., Burbano A., Bustamante L., Calderón D., Calderón H., Cando D., Cevallos A., Chamorro M., Chipantiza K., Criollo D, Dávalos D., Erazo J., Estacio S., Gaibor K., Guacho J., Hidalgo J., López M., Luje D., Moreano R., Morejón E., Nacevilla L., Rueda J., Tito D., (2017), "Comportamiento estructural de Edificios afectados por el terremoto de 2016 en Manta. Primera Parte", *Revista Ciencia,* **19, 3,** 237-261. http://www.revista_ciencia.espe.edu.ec
2. Aguiar R., Cevallos A., Sornoza M., Iglesias M., Loor E., López L., Salguero W., Quijije V., Pata K., Prado V., Bravo G., Chica G., Manner S., Briones A., Zambrano L., Ayala F., Cobeña E., Novoa M., Ostaiza K., Solorzano M., Villacrés B., Luzardo D., Zambrano E., Mero M., Mero R., Mero J., Intriago M., Castro D., (2017), "Comportamiento estructural de Edificios afectados por el terremoto de 2016 en Manta. Segunda Parte", *Revista Ciencia,* **19, 3,** 263-286. http://www.revista_ciencia.espe.edu.ec
3. Aguiar R., Ortíz D, (2017), "Análisis sísmico de un edificio de doce pisos de la ciudad de Manta considerando interacción suelo estructura", *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras,* **22, 3,** 251-279.
4. Geoestudios (2016), *Estudio Geotécnico y de Riesgo Sísmico de la zona Tarqui de la ciudad de Manta de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015,* Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 254 pp.
5. Pitilakis K., Anastasiadis A., Riga E., (2012), "New site classification scheme and associated site amplification factors". SHARE Deliverable, Thessaloniki, Greece, 4.3
6. Pitilakis K., Riga E., Anastasiadis A., (2013) "New code site classification, amplification factors and normalized response spectra based on a worldwide ground-motion database", Bulletin Earthquake Engineering 11: 925-966, doi:10.1007/s10518-013-9429-4.
7. Shimazaki K., and Sozen M., (1984), "Seismic drift of reinforced concrete structures Technical Report", *Hazama-Gumi,* 145-165, Tokyo.
8. Sozen M., (1997), *Drift-driven designs for earthquake resistance of reinforced Concrete,* EERC-CUREe Symposium in Honor of Vitelmo Bertero, Report UCB/EERC-97/05, EERC, University of California, Berkeley.